

การศึกษาการปนเปื้อนของฝุ่นละอองรวมภายในและภายนอกอาคาร

A STUDY ON CONTAMINATION OF TOTAL SUSPENDED PARTICULATE IN AND OUT OF BUILDING

กลีนประทุม ปัญญาปิง* ปิยรัตน์ วิจิตรพงษา วल्ली มีเพชร สุพัตรา เตจาร์งสี
Klinpratoom Panyaping*, Piyarat Wijitpongsa, Wallee Meepetch, Supattra Thejarungs

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ
เชียงใหม่

Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Lanna, Northern Campus, Chiang Mai, Thailand.

*Corresponding author, E-mail: klinpratoomp@yahoo.com, klin41@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP) ในบรรยากาศที่อยู่ภายในและภายนอกอาคารเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ยธ.4) มทร.ล้านนา เชียงใหม่ และสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวม รวมทั้งความเข้มข้นเฉลี่ยของการรับสัมผัส โดยทำการเก็บตัวอย่างรวม 3 จุด จำนวนจุดละ 30 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล และอีก 1 จุดด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงจำนวน 40 ตัวอย่างและทำการวิเคราะห์แบบชั่งน้ำหนัก (Gravimetric) ส่วนสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวม ถูกตรวจหาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในระหว่าง เดือนมีนาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2554

ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ TSP ภายในอาคาร ได้แก่ ห้องเรียนยธ.4-302 มีค่า $123.8188 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และห้องเรียนยธ.4-304 มีค่า $127.7387 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ความเข้มข้นของ TSP ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 2 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีค่า $254.2876 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และบริเวณชั้น 1 ด้านหลังห้องปฏิบัติการทางเคมีของสาขาวิชาเดียวกัน มีค่า $131.0608 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สิ่งปนเปื้อนที่พบใน TSP ภายในอาคารจากทั้ง 2 ห้องเรียน ได้แก่ อนุภาคฝุ่นละออง (100%) เศษไม้ (57, 63%) โยหิน (Asbestos) (33, 43%) และเถ้าลอย (Fly Ash) (27, 37%) ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่พบใน TSP บริเวณภายนอกอาคารทั้ง 2 แห่ง ได้แก่ อนุภาคฝุ่นละออง (100%) เถ้าลอย (43, 60%) โยหิน (Asbestos) (37, 55%) เศษเหล็ก (48%) เส้นใยสังเคราะห์ (38%) เศษไม้ (30%) และอื่นๆ (<20%) และยังพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TSP ที่รับสัมผัสได้ภายในห้องเรียนของอาคารยธ.4 ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ($30.9547, 31.9347 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่ามากกว่าในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ($61.9094, 63.8694 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ประมาณ 2 เท่า

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองรวม สิ่งปนเปื้อน อาคาร ความเข้มข้นเฉลี่ยที่รับสัมผัส

Abstract

The purpose of the this study was to determine the quantity of total suspended particulate, TSP in ambient air both in and out of Faculty of Engineering Building (C-4) in Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. The physical characteristic of contaminant and concentration exposure of TSP were also determined. It was performed by using personal air sampler for 3 sampling points, and high volume air sampler for 1 sampling point. The total number of air sample from personal air sampler was 30 samples for each sampling point, and the total number of air sample from high volume air sampler was 40 samples. All samples were analyzed by gravimetric method, and contaminants in TSP were determined by light microscope during March-December 2011.

It was found that concentrations of TSP in building C-4; R4-302 and R4-304 were $123.8188 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and $127.7387 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The concentrations of TSP outside building C-4 in the 2nd floor where was near the Biological Laboratory (Bio. Lab.) of Environmental Engineering Dept., and in the 1st floor where was near the Chemical Laboratory (Chem. Lab.) of the same Dept. were $254.2876 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and $131.0608 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The physical characteristics of contaminants in TSP in the building C-4 from 2 classrooms were found to be TSP (100%), Wood Scrap (57, 63%), Asbestos (33, 43%), and Fly Ash (27, 37%). The contaminants in TSP outside that building from near Bio. and Chem. Lab. were found to be TSP (100%), Fly Ash (43, 60%), Asbestos (37, 55%), Iron Scrap (48%), Fiber (38%), Wood Scrap (30%), and others (<20%). Moreover, the average concentrations of TSP exposure in the building C-4 from 2 classrooms in 2 hours (30.9547 , $31.9347 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were higher than those in 4 hours (61.9094 , $63.8694 \mu\text{g}/\text{m}^3$) about 2 times.

Keywords: Total Suspended Particulate, Contamination, Building, Time Weighted Average Exposure

บทนำ

จากการที่จังหวัดเชียงใหม่ได้ประสบปัญหาหมอกควันจนถึงขั้นวิกฤติในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาแก่สุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ รวมทั้งภาคเหนือตอนบนเป็นอย่างมาก และมีผลกระทบทั้งต่อสุขภาพสิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ [1] ปัญหาหมอกควันดังกล่าวได้เกิดขึ้นนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2553 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ยกเว้นปี พ.ศ. 2554 ซึ่งมีฝนตกเร็วและนานกว่าปกติ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นละอองรวมที่เกิดขึ้นบริเวณอาคารที่อยู่

ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ที่ได้รับปัญหาดังกล่าว นอกจากนั้นตามบริเวณอาคารหลายแห่งยังมีการสูบบุหรี่ในสภาพแวดล้อม (Environmental Tobacco Smoke) แม้ว่าได้มีการห้ามสูบก็ตาม รวมทั้งมีกิจกรรมต่างๆ และการเรียนการสอนที่เป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในมหาวิทยาลัยฯ มักมีปัญหากับการเผาเศษไม้และใบไม้อยู่เป็นประจำ และยังมีห้องปฏิบัติการต่างๆ ในบริเวณใกล้เคียง เช่น โรงฝึกงานไม้ และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเกษตรที่มีกิจกรรม

การเรียนการสอน ซึ่งอาจมีเศษวัสดุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้น เช่น เศษไม้ และขี้เลื่อย รวมทั้งฉนวน ซึ่งมีองค์ประกอบของใยหิน (Asbestos) และเส้นใยสังเคราะห์ (Fiber) ที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนในบรรยากาศได้

จากเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศทั้งบริเวณภายในและภายนอกอาคารโยธา 4 (ยธ.4) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาคพายัพ เชียงใหม่ ซึ่งเป็นอาคารที่คณะผู้ทำการวิจัยใช้ในการเรียนการสอน และทำกิจกรรมมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อทราบแนวโน้มของปริมาณฝุ่นละอองรวมทั้งภายในและภายนอกอาคาร และสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองดังกล่าว รวมทั้งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของการรับสัมผัสภายในอาคาร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศและศึกษาลักษณะทางกายภาพของสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองดังกล่าวที่เกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกห้องเรียนของอาคารโยธา 4 (ยธ.4) มทร.ล้านนา เชียงใหม่ รวมทั้งหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศที่พบภายในห้องเรียนของอาคาร ยธ.4 มทร.ล้านนา เชียงใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย จุดเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่าง ได้แก่ บริเวณอาคารโยธา 4 (ยธ.4) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาคพายัพ เชียงใหม่ ที่ระดับความสูงของแต่ละชั้นเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 1-3) คือ บริเวณชั้น 3 ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 2 จุด ได้แก่ ห้องเรียนยธ.4-302 และห้องเรียนยธ.4-304 บริเวณชั้น 2 ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 1 จุด คือ อาคารยธ.4 บริเวณ

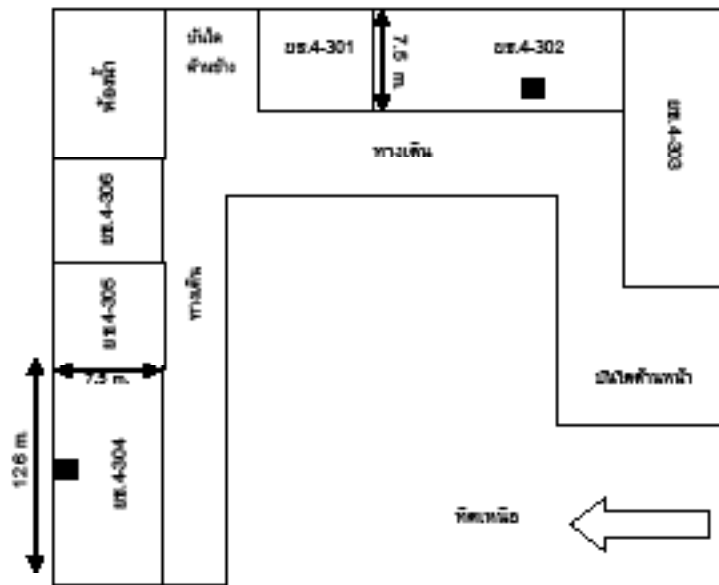
ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา (Near Bio. Lab.) รวม 40 ตัวอย่าง ครอบคลุมทั้ง 3 ฤดูกาล และบริเวณชั้น 1 ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 1 จุด คือ บริเวณด้านหลังห้องปฏิบัติการทางเคมี (Near Chem. Lab.) รวม 30 ตัวอย่าง ทั้ง 4 จุด ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 1 ชั่วโมง แต่ละจุด เนื่องจากต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุด

2. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ได้แก่ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูง (High-Volume Air Sampler) รุ่น TE-5170, TISCH อัตราการไหล 2 ลิตร/นาที และเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล (Personal Air Sampler) รุ่น Gil Air-3, NIOSH อัตราการไหล 1.7 ลิตร/นาที ซึ่งภายในเครื่องเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด บรรจุกระดาษกรองไว้สำหรับใช้เป็นตัวกลางในการดักจับฝุ่นละอองในบรรยากาศ

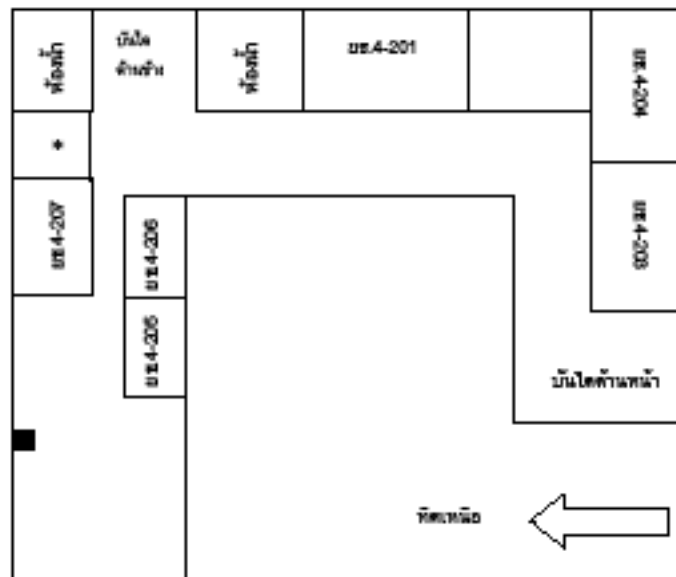
3. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า ได้ถูกนำมาใช้ส่องหาสิ่งปนเปื้อน [2] ในฝุ่นละอองรวมของทุกตัวอย่างที่เก็บทั้งภายในและภายนอกอาคาร

4. พารามิเตอร์ที่ศึกษาและตรวจวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์หาค่า TSP แบบชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method) โดยทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของกรมควบคุมมลพิษ ประเทศไทย และสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NIOSH) [3-4]

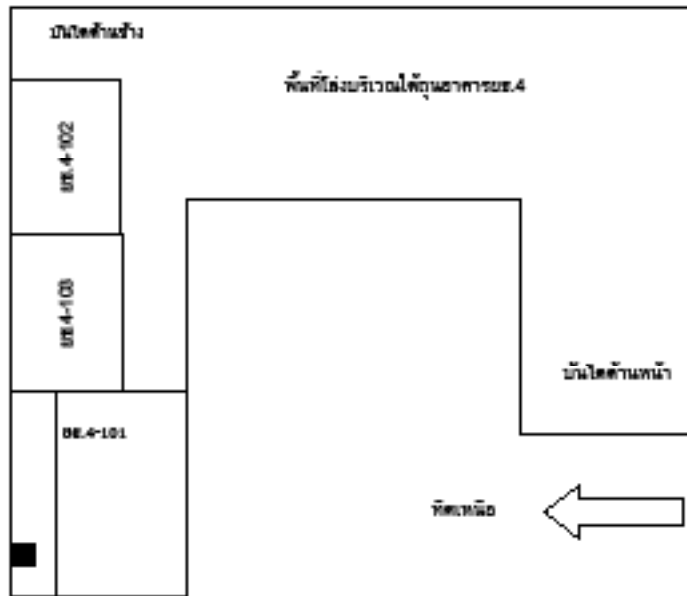
5. ระยะเวลาศึกษา ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2554



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 ภายในอาคาร 4 ชั้น 3 บริเวณห้องเรียน 4-302 และ 4-304
หมายเหตุ: ■ คือ จุดเก็บตัวอย่างในห้องเรียน จำนวน 2 จุด



ภาพที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ภายในห้องพักเรียนของอาคาร 4 ชั้น 2
หมายเหตุ: * คือ ห้องเก็บของ
 ■ คือ จุดเก็บตัวอย่างในห้องเรียน



ภาพที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ภายในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย 4 ชั้น 1
หมายเหตุ: ■ คือ จุดเก็บตัวอย่างนอกห้องเรียน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1. วิธีการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองรวมของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูง (High-Volume Air Sampler) อาศัยสมการดังต่อไปนี้ [5]

ก. คำนวณหาปริมาตรอากาศ (V_m) ที่เก็บตัวอย่าง ดังสมการที่ 1

$$V_m = FT \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

V_m = ปริมาตรของอากาศที่เก็บตัวอย่างได้ (m^3)

F = อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (m^3/min)

T = เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (min)

ข. คำนวณหาปริมาตรของอากาศ ($V_{m(std)}$) ที่สภาวะมาตรฐาน ดังสมการที่ 2

$$(V_{m(std)}) = (V_m)(Pa)(298)(760)(Ta) \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

$(V_{m(std)})$ = ปริมาตรของอากาศ ที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V = ปริมาตรของอากาศที่เก็บตัวอย่างได้ (m^3)

Pa = ความดันเฉลี่ยของบรรยากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่าง (mm.Hg)

Ta = อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ($^{\circ}K$)

298 = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน ($^{\circ}K$) (ที่ $25^{\circ}C$)

760 = ความดันที่สภาวะมาตรฐาน (mm.Hg)

ค. วิธีคำนวณหาปริมาณเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) ในบรรยากาศ ดังสมการที่ 3

$$TSP = \frac{W_f - W_i}{V_m} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (3)$$

- เมื่อ TSP = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 W_f = น้ำหนักกระดาดกรองหลังเก็บตัวอย่าง (g)
 W_i = น้ำหนักกระดาดกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (g)
 V_m = ปริมาตรของอากาศ ที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)
 10^6 = การแปลงหน่วยจาก g เป็น μg

2. วิธีคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองรวมของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล (Personal Air Sampler) ดังสมการที่ 4 [6]

ก. วิธีคำนวณหาปริมาตรอากาศ

$$V = Q \times T \quad \dots\dots\dots (4)$$

- เมื่อ V = ปริมาตรอากาศ (m^3/hr)
 Q = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/hr)
 T = เวลาการเก็บตัวอย่าง (hr)

ข. วิธีคำนวณหาปริมาณฝุ่นรวมละอองรวม (TSP) ดังสมการที่ 5

$$TSP = \frac{W_f - W_i}{V} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (5)$$

- เมื่อ TSP = อนุภาคแขวนลอย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 W_f = น้ำหนักกระดาดกรองหลังเก็บตัวอย่าง (g)
 W_i = น้ำหนักกระดาดกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (g)
 V = ปริมาตรอากาศทั้งหมด ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3. วิธีคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่ผู้ใช้ห้องเรียนสัมผัสกับปริมาณฝุ่นละอองรวม (Time Weighted Average หรือ TWA) ดังสมการที่ 6 [7]

$$TWA = \frac{\sum T_i C_i}{T_{\text{total}}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

- เมื่อ TWA = ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่ผู้ใช้ห้องเรียน (ผู้เรียน/ผู้สอน) สัมผัสกับปริมาณ TSP
 T_i = ระยะเวลาที่ผู้ใช้ห้องเรียนอยู่ในห้องเรียน เท่ากับ 2 ชั่วโมงต่อครั้ง
 C_i = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมภายในห้องเรียน
 T_{total} = ระยะเวลาการใช้ห้องเรียนทั้งหมดใน 8 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

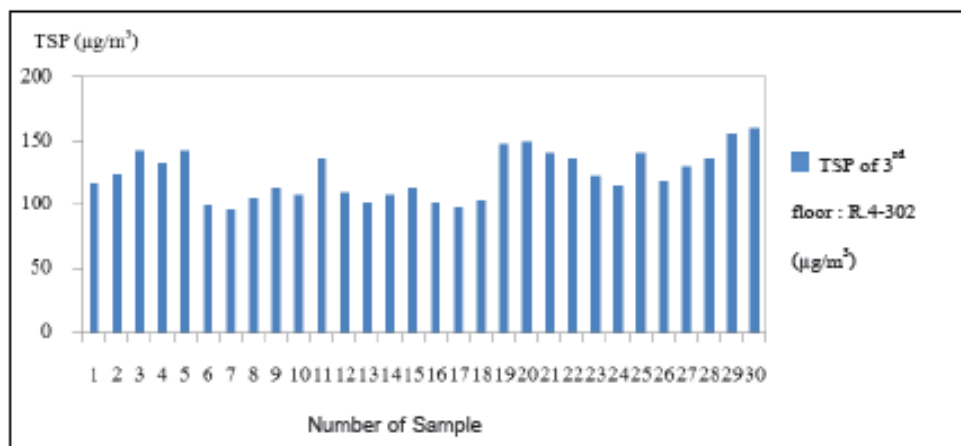
ฝุ่นละอองรวม (TSP) ในบรรยากาศภายในอาคาร

ผลการวัดค่า TSP ในบรรยากาศที่มีอยู่บริเวณภายในอาคาร จำนวน 2 จุด ใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่างนาน 2 ชั่วโมง มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

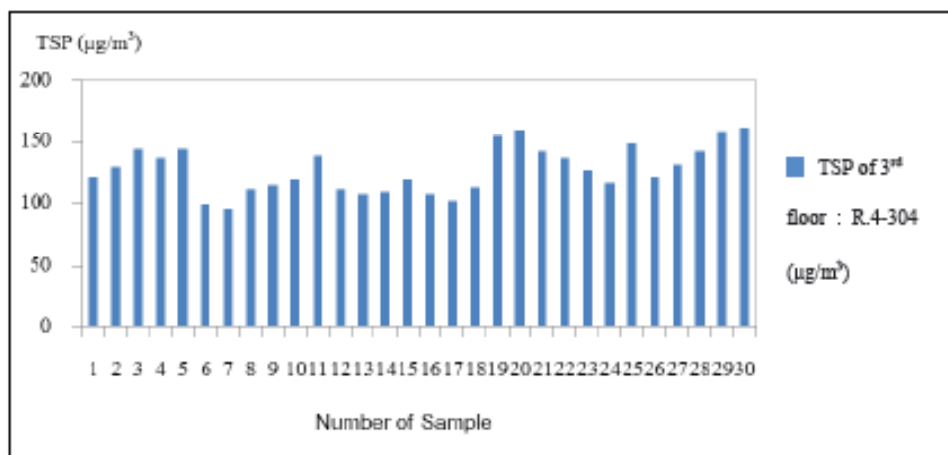
ตารางที่ 1 ฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในอาคารบริเวณห้องยธ.4-302 และห้องยธ.4-30

ตัวอย่างที่	วัน / เดือน / ปี	ฝุ่นละอองรวม (TSP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ฝุ่นละอองรวม (TSP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ภายในห้องยธ.4-302	ภายในห้องยธ.4-304
1	8 มี.ค. 54	117.3021	121.2833
2	9 มี.ค. 54	125.1222	129.1080
3	21 มี.ค. 54	142.7175	144.7574
4	22 มี.ค. 54	132.9423	136.9327
5	23 มี.ค. 54	142.7175	144.7574
6	24 มี.ค. 54	99.7067	99.7653
7	28 มี.ค. 54	95.7967	95.8529
8	4 เม.ย. 54	105.5718	111.5023
9	5 เม.ย. 54	113.3920	115.4147
10	18 เม.ย. 54	107.5269	119.3271
11	20 เม.ย. 54	136.8524	138.8889
12	25 เม.ย. 54	109.4819	111.5023
13	29 เม.ย. 54	101.6618	107.5900
14	2 พ.ค. 54	113.3920	109.5462
15	11 พ.ค. 54	101.6618	119.3271
16	12 พ.ค. 54	97.7517	107.5900
17	26 พ.ค. 54	103.6168	101.7214
18	27 พ.ค. 54	148.5826	113.4585
19	29 พ.ค. 54	150.5376	154.5383
20	13 ต.ค. 54	140.7625	160.4069
21	14 ต.ค. 54	136.8524	142.8013
22	17 ต.ค. 54	123.1672	136.9327
23	18 ต.ค. 54	115.3470	127.1518
24	19 ต.ค. 54	140.7625	117.3709
25	20 ต.ค. 54	119.2571	148.6698
26	21 ต.ค. 54	130.9873	121.2833
27	25 ต.ค. 54	136.8524	131.0642
28	26 ต.ค. 54	156.4027	142.8013
29	27 ต.ค. 54	160.3128	158.4507
30	30 ต.ค. 54	113.3920	162.3631
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		123.8188	127.7387
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		19.0403	19.0641

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ย TSP ภายในอาคารห้องยธ.4-302 และห้องยธ.4-304 มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก แต่มีค่า TSP ในแต่ละวันแตกต่างกันเล็กน้อยถึงมาก โดยมีแนวโน้มของค่าที่วัดได้อยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ค่าปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในห้องเรียนยธ.4-302



ภาพที่ 5 ค่าปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในห้องเรียนยธ.4-304

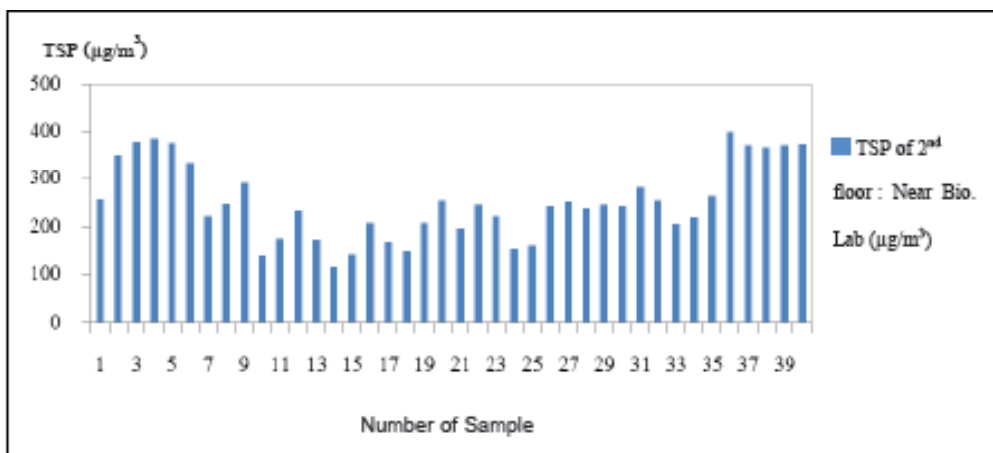
ฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคาร

ผลการวัดค่า TSP ในบรรยากาศที่มีอยู่บริเวณภายนอกอาคารยธ.4 จำนวน 2 จุด ใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่างนาน 24 ชั่วโมง สำหรับจุดเก็บตัวอย่างภายนอกอาคารจุดที่ 3 บริเวณชั้น 2 ข้างห้อง Bio. Lab และนาน 2 ชั่วโมง สำหรับจุดเก็บตัวอย่างภายนอกอาคารจุดที่ 4 บริเวณชั้น 2 ข้างห้อง Chem. Lab. ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 2 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา (Near Bio. Lab.) สาขาชีววิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างที่	วัน / เดือน / ปี	ฝุ่นละอองรวม (TSP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ภายนอกอาคาร Near Bio. Lab
1	9 มี.ค. 54	258.1724
2	15 มี.ค. 54	351.0160
3	21 มี.ค. 54	381.2446
4	22 มี.ค. 54	387.1465
5	23 มี.ค. 54	377.6197
6	28 มี.ค. 54	334.7698
7	4 เม.ย. 54	222.1408
8	7 เม.ย. 54	250.6731
9	19 เม.ย. 54	292.1864
10	20 เม.ย. 54	141.8877
11	25 เม.ย. 54	174.6044
12	26 เม.ย. 54	234.6479
13	2 พ.ค. 54	173.9506
14	3 พ.ค. 54	118.1252
15	12 พ.ค. 54	144.2356
16	23 พ.ค. 54	209.6747
17	25 พ.ค. 54	169.0300
18	26 พ.ค. 54	149.8421
19	30 พ.ค. 54	210.0282
20	31 พ.ค. 54	256.2935
21	6 มิ.ย. 54	197.6465
22	7 มิ.ย. 54	246.9025
23	9 มิ.ย. 54	222.3166
24	14 มิ.ย. 54	155.7126
25	15 มิ.ย. 54	161.8576
26	16 มิ.ย. 54	242.6808
27	22 มิ.ย. 54	254.4239
28	23 มิ.ย. 54	239.6835
29	7 ก.ค. 54	248.4926
30	20 ก.ค. 54	242.3073
31	28 พ.ย. 54	284.5781
32	30 พ.ค. 54	255.8978
33	6 ธ.ค. 54	206.8376
34	7 ธ.ค. 54	220.4463
35	8 ธ.ค. 54	265.5524
36	12 ธ.ค. 54	400.6135
37	20 ธ.ค. 54	372.9748
38	21 ธ.ค. 54	369.4878
39	23 ธ.ค. 54	373.8868
40	26 ธ.ค. 54	375.9142
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		254.2876
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		80.2715

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ย TSP ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 2 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา (Near Bio. Lab.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เท่ากับ $254.2876 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่า TSP ในแต่ละวัน มีความแปรผันชัดเจนสอดคล้องกับฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม 2554) ต่อกับฤดูร้อน (มีนาคม 2554) มีค่าสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นค่าที่สูงเกินค่ามาตรฐาน ($330 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [3] ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 2 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา (Near Bio. Lab.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

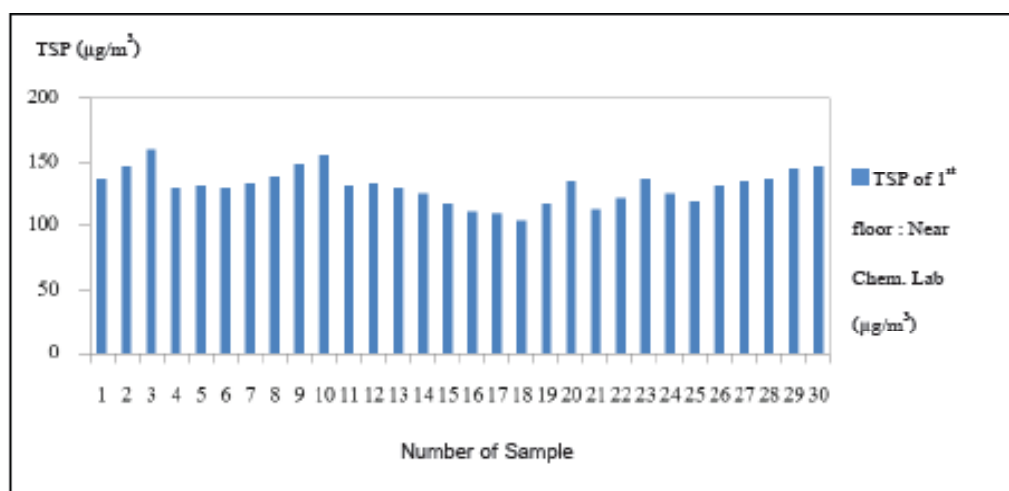
ตารางที่ 3 ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคาร บริเวณชั้น 1 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางเคมี (Near Chem. Lab.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างที่	วัน / เดือน / ปี	ฝุ่นละอองรวม (TSP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ภายนอกอาคาร Near Chem. Lab.
1	7 มิ.ย. 54	136.8524
2	9 มิ.ย. 54	146.6276
3	10 มิ.ย. 54	160.3128
4	14 มิ.ย. 54	129.0323
5	15 มิ.ย. 54	130.9873
6	16 มิ.ย. 54	129.0323
7	20 มิ.ย. 54	132.9423
8	22 มิ.ย. 54	138.8074
9	23 มิ.ย. 54	148.5826
10	20 ก.ค. 54	156.4027
11	21 ก.ค. 54	130.9873
12	4 ส.ค. 54	132.9423
13	22 ส.ค. 54	129.0323
14	25 ส.ค. 54	125.1222
15	26 ส.ค. 54	117.3021
16	30 ส.ค. 54	111.4370
17	31 ส.ค. 54	103.6168
18	19 ก.ย. 54	117.3021
19	5 ต.ค. 54	134.8974

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	วัน / เดือน / ปี	ฝุ่นละอองรวม (TSP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ภายนอกอาคาร Near Chem. Lab.
20	7 ต.ค. 54	113.3920
21	11 ต.ค. 54	121.2121
22	13 ต.ค. 54	136.8524
23	17 ต.ค. 54	125.1222
24	18 ต.ค. 54	119.2571
25	19 ต.ค. 54	130.9873
26	20 ต.ค. 54	134.8974
27	21 ต.ค. 54	136.9327
28	25 ต.ค. 54	144.7574
29	26 ต.ค. 54	103.6168
30	27 ต.ค. 54	146.7136
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		131.0608
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		13.5084

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ย TSP ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 1 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางเคมี (Near Chem. Lab.) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เท่ากับ $131.0608 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าน้อยกว่าภายนอกอาคารบริเวณชั้น 2 ซึ่งอยู่ด้านข้างปฏิบัติการทางชีววิทยา เนื่องจากทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน และใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่สั้นกว่า ด้วยข้อจำกัดของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเฉพาะบุคคล แนวโน้มของค่าปริมาณฝุ่นละอองรวมที่วัดได้ในแต่ละวัน มีความแปรผันน้อย ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคารบริเวณชั้น 1 ด้านข้างห้องปฏิบัติการทางเคมี (Near Chem. Lab.) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปนเปื้อนที่พบภายในและภายนอกอาคาร

ผลการตรวจหาสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวมด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบสิ่งปนเปื้อนหลายชนิด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สิ่งปนเปื้อนที่พบภายในและภายนอกอาคาร [2, 8]

ชนิดของสิ่งปนเปื้อน	ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปนเปื้อน	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
1. อนุภาคฝุ่นละออง	มีอนุภาคกระจาย ไม่เป็นระเบียบ เป็นจุดเล็กๆ สีดำ/น้ำตาล	✓	✓
2. เศษไม้	มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกสั้นและมีสีน้ำตาล	✓	✓
3. โยหิน (Asbestos)	มีลักษณะตรงเป็นแท่ง ปลายแหลมคล้ายเข็ม และมีสีขาว/เหลือง	✓	✓
4. แก้วลอย	มีรูปร่างค่อนข้างกลม เป็นอนุภาคสีดำหรือน้ำตาลขนาดเล็ก	✓	✓
5. เศษดิน	มีลักษณะค่อนข้างกลม มีสีน้ำตาลหรือดำ	-	✓
6. เศษหิน	มีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีสีน้ำตาลอ่อนและดำ	-	✓
7. เศษเหล็ก	มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม และมีการสะท้อนแสง	-	✓
8. เส้นใยสังเคราะห์	มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกสั้น มีขนาดของเส้นเล็กๆ และมีสีดำ	-	✓
9. เส้นลวด	มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาวๆ และมีการสะท้อนแสง	-	✓

หมายเหตุ: ✓ พบสิ่งปนเปื้อน
- ไม่พบสิ่งปนเปื้อน

สิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวมภายในห้องเรียน ทั้ง 2 ห้อง ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และเดือนตุลาคม ส่วนใหญ่ที่พบคิดเป็นอนุภาค ฝุ่นละออง 100% (เศษไม้ 57, 63%) โยหิน (33, 43%) และแก้วลอย (27, 37%) ตามลำดับ

สิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวมภายนอกอาคาร ในช่วงเดือนมีนาคมถึงธันวาคม 2554 มีหลากหลายชนิด ในบริเวณชั้น 2 ข้างห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา ส่วนใหญ่ที่พบคิดเป็นแก้วลอย 60% รองลงมาเป็นโยหิน 55% เศษเหล็ก 48% เส้นใยสังเคราะห์ 38% เศษไม้ 30% เศษหิน 18% เศษดิน 12.5% และเส้นลวด 7.5% ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่พบบริเวณชั้น 1 ข้างห้องปฏิบัติการทางเคมี ส่วนใหญ่คิดเป็นอนุภาคฝุ่นละออง 100% รองลงมาเป็นแก้วลอย 43% โยหิน 37% และเศษไม้ 17%

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของการรับสัมผัสฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในอาคาร

ปริมาณการรับสัมผัสความเข้มข้นของ TSP ภายในห้องเรียน คำนวณจากสมการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (Time Weighted Average, TWA) ที่ผู้ใช้ห้องเรียนสัมผัสกับ TSP พบว่าถ้าผู้ใช้ ห้อง ยธ.4-302 และห้องยธ.4-304 เป็นระยะเวลา นาน 2 ชั่วโมง ผู้ใช้ห้องเรียนมีโอกาสรับสัมผัส TSP เท่ากับ $30.9547 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $31.9347 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ แต่ถ้าผู้ใช้ห้องมีความจำเป็นต้องใช้ห้องต่อเนื่องกันอีก 2 ชั่วโมง รวมเป็น ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ผู้ใช้ห้องเรียนมีโอกาสรับสัมผัส TSP เท่ากับ $61.9094 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $63.8694 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมทุก 2 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ห้องเรียนในอาคารยธ.4 มีโอกาสรับสัมผัส TSP และสิ่งปนเปื้อนเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า

สรุปและอภิปรายผล

1) ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ในบรรยากาศภายในอาคาร บริเวณห้องยธ.4-302 ($127.7387 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าสูงกว่าห้องยธ.4-304 ($123.8188 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ไม่มากนัก เพราะสภาพที่ตั้งของห้องยธ.4-302 มีต้นไม้ใหญ่คั่นอยู่ ส่วนห้องยธ.4-304 อยู่ใกล้กับแหล่งที่เกิดฝุ่นละอองมากกว่า นอกจากนั้นในช่วงแรกเป็นช่วงปลายฤดูหนาว ซึ่งมีความกดอากาศต่ำ และมีความชื้นในบรรยากาศน้อย ส่งผลให้มีการแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศได้น้อย สอดคล้องกับลักษณะอุตุนิยมวิทยาที่วัดได้ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ [9] และมีค่าลดลงต่ำสุด (95.7967 - $95.8529 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ตัวอย่างที่ 7) ในวันที่ 28 มีนาคม 2554 เพราะมีพายุฤดูร้อนเกิดขึ้น ทำให้มีฝนตก ค่า TSP ในบรรยากาศจึงถูกเจือจางลง หลังจากนั้น TSP มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อน มวลสารในบรรยากาศสามารถลอยตัวสูงขึ้น และพัดพาฝุ่นละอองจากพื้นดินสู่บรรยากาศ และลดลงอีกครั้ง (97.7517 , 101.7214 - $107.5900 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ตัวอย่างที่ 15-17) ในช่วงกลางเดือนถึงก่อนปลายเดือนพฤษภาคม 2554 จากการที่มีฝนตก และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง อยู่ระหว่าง 103.6168 - $160.3128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยมีค่าสูงสุด ($160.3128 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ตัวอย่างที่ 29 และ 30) ในวันที่ 30 ตุลาคม 2554 เนื่องจากเป็นช่วงต้นฤดูหนาว ความชื้นในบรรยากาศลดลง TSP จึงแพร่กระจายได้น้อยลง ส่งผลให้ค่า TSP สูงขึ้น [8, 10] แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า TSP ภายในห้องเรียนทั้ง 2 ห้อง มีความคล้ายคลึงกัน ด้วยลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาข้างต้น รวมทั้งสภาพที่ตั้งที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม และแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งควันบุหรี่และติดมากับเสื้อผ้าและรองเท้าของผู้ใช้อาคาร

2) ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายนอกอาคาร บริเวณชั้น 2 ด้านข้างห้องปฏิบัติการชีววิทยา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ย

$254.3876 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีค่า TSP สูงในช่วงแรก และมีค่าลดลงต่ำสุด ($118.1252 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ตัวอย่างที่ 14) ในวันที่ 3 พฤษภาคม 2554 เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน ทำให้ TSP ถูกเจือจางลงในบรรยากาศ หลังจากนั้น ค่า TSP ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในช่วงปลายเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนมิถุนายน 2554 เนื่องจากฝนทิ้งช่วงส่งผลให้ค่า TSP ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น และลดต่ำลงอีกครั้งในช่วงกลางเดือนมิถุนายน มีค่าอยู่ระหว่าง 155.7126 - $161.8576 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ตัวอย่างที่ 24-25) แล้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยมีค่าสูงสุด ($400.6135 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ตัวอย่างที่ 36) ในวันที่ 12 ธันวาคม 2554 เนื่องจากเป็นช่วงเข้าสู่ต้นฤดูหนาว ซึ่งความชื้นในบรรยากาศมีค่าลดลง การแพร่กระจายของ TSP เกิดขึ้นน้อย [8, 10] ประกอบกับการเผาเศษกิ่งไม้ ใบไม้ เศษไม้ และขยะ รวมทั้งจากกิจกรรมการเรียนการสอนภายในห้องปฏิบัติการต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง มีส่วนให้ปริมาณฝุ่นละอองสูงขึ้น ในช่วงปลายเดือนธันวาคม 2554 และมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐาน ($330 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [3]

ส่วนปริมาณ TSP ภายนอกอาคารบริเวณด้านข้างห้องปฏิบัติการทางเคมี สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ย $103.6168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ เป็นผลจากฤดูกาลและระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมิถุนายน 2554 ถึงเดือนตุลาคม 2554 นั้น เป็นช่วงที่มีฝนตก และใช้เวลาเก็บตัวอย่างเพียง 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างภายในอาคาร ซึ่งใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศแบบเฉพาะบุคคล ประกอบกับในปี 2554 เป็นปีที่มีฝนตกค่อนข้างชุก-ชุกมาก โดยเฉพาะระหว่างกลางเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนธันวาคม 2554 ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดมหาอุทกภัยขึ้นในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง รวมทั้งกรุงเทพมหานคร ระหว่างเดือนตุลาคม 2554-เดือนมกราคม 2555 [11] ค่าที่วัดได้จึงต่ำ และมีความแปรผันน้อย

เมื่อเปรียบเทียบค่า TSP ที่วัดได้ภายนอกอาคารเรียนของมทร. ล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2554 กับอาคารเรียนของโรงเรียนหน้าพระลาน สระบุรี ซึ่งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมย่อยหิน ในปี พ.ศ. 2543 จากการศึกษาของพัชรีย์ ชุติมาสกุล [12] พบว่าค่าเฉลี่ย TSP ภายนอกอาคารโรงเรียนหน้าพระลาน ($237.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าต่ำกว่าภายนอกอาคารเรียนมทร. ล้านนา ภาคพายัพ ($103.6168, 254.3876 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และจากการศึกษาของสิทธิชัย มุ่งดี ในปี พ.ศ. 2547 [13] พบว่าค่าเฉลี่ย TSP ในระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ภายนอกอาคารของโรงเรียนหน้าพระลาน สระบุรี ($262.5-778.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย TSP ในระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ของภายนอกอาคารเรียนมทร. ล้านนา ภาคพายัพ ในขณะที่ค่าเฉลี่ย TSP ในระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ภายนอกอาคารเรียนของโรงเรียนบ้านโคกตูม ลพบุรี ($48.7-126.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าต่ำกว่าภายนอกอาคารของโรงเรียนหน้าพระลาน และภายนอกอาคารเรียนยธ.4 มทร. ล้านนา ($103.6168, 254.3876 \mu\text{g}/\text{m}^3$) อย่างมาก

3) ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในอาคาร บริเวณห้องยธ.4-302 และห้องยธ.4-304 พบว่าส่วนใหญ่เป็นอนุภาคฝุ่นละออง (100%) เศษไม้ (57, 63%) โยหิน (Asbestos) (33, 43%) และเถ้าลอย (Fly Ash) (27, 37%) ตามลำดับ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากผู้ใช้ห้องเรียน เช่น ตีตมา กับรองเท้า หรือ เสื้อผ้า และมาจากลมที่พัดพาเอาสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมในบริเวณใกล้เคียง เช่น โรงฝึกปฏิบัติงานไม้ และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเกษตร เข้ามาภายในอาคาร บริเวณห้องเรียนข้างต้น

ส่วนภายนอกอาคาร บริเวณชั้น 1 และ 2 ส่วนใหญ่พบสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ อนุภาคฝุ่นละออง (100%) เถ้าลอย (60%) โยหิน (Asbestos) (37, 55%) เศษเหล็ก (63%) เส้นใยสังเคราะห์

(38%) เศษไม้ (30%) และอื่นๆ (<20%) ซึ่งมีจุดกำเนิดของมวลสารทางอากาศหลายจุด ได้แก่ การเผาไหม้พวกเศษกิ่งไม้ ใบไม้ ขยะบางส่วน และเศษผงฝุ่นไม้และขี้เลื่อยจากโรงฝึกงานไม้ และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเกษตร ที่มีการเรียนการสอน ซึ่งมีการใช้ตะไบเหล็ก และเครื่องตัดเหล็ก ที่นับเป็นแหล่งกำเนิดของสิ่งปนเปื้อนจำพวกเศษเหล็ก นอกจากการใช้ฉนวน ซึ่งมีใยหิน รวมทั้งเส้นใยสังเคราะห์ เป็นองค์ประกอบในชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และรถยนต์ เป็นต้น

4) ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของการรับสัมผัสฝุ่นละอองรวม (TSP) ภายในอาคาร บริเวณห้องยธ.4-302 ($30.9547 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และยธ.4-304 ($31.9347 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าใกล้เคียงกันในระยะเวลา 2 ชั่วโมง แต่มีค่าแตกต่างกันประมาณ 2 เท่า ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นอีก 2 ชั่วโมง หรือ 1 รอบของการใช้ห้องเรียนภายในอาคาร หากผู้ใช้ห้องเรียนภายในอาคาร ใช้เวลานานอยู่ในห้องเรียน ก็มีโอกาสดำรับสัมผัส TSP และสิ่งปนเปื้อนสูงขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2551). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ.
- [2] MVA Scientetific Consultants, Inc. (2011). *Light Microscopy*. Retrieved January 31, 2011, from www.mvainc.com/capabilities/light-microscope
- [3] กรมควบคุมมลพิษ. (2554). *มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ. 2553)*. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2554, จาก <http://www.pcd.go.th/info-serv/reg-std-airsnd61.htm>
- [4] Sensidyne. (2008). *Industrial Health & Safety Instrumentation*. USA.
- [5] APHA Intersociety Committee. (1989). *Methods of Air Sampling and Analysis*. 3rd ed. USA.
- [6] NIOSH. (2011). *NIOSH Method and Analysis*. Retrieved May 31, 2011, from www.cdc.gov/niosh/does/2003-154/pdf/0500.pdf
- [7] OSHA. (2003). *Time Weighted Average Exposure*. Retrieved May 31, 2011, from www.osha.gov/law-regs.html
- [8] วนิดา จินตาสตร. (2551). *มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่. (2555). *รายงานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำปี พ.ศ. 2554*. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2555, จาก www.cmnet.tmd.go.th/forecast/climate.xls
- [10] Jacobson, Mark Z. (2002). *Atmospheric Pollution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Blueve Word Press. (2012). *Thai Flood News*. Retrieved February 29, 2012, from www.thaifloodnews.com
- [12] พัชรีย์ ชูติมาสกุล. (2543). *การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารโรงเรียนของโรงเรียนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมย่อยหิน จังหวัดสระบุรี*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท). มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [13] สิทธิชัย มุ่งดี. (2547). *ความชุกของอาการทางระบบหายใจและสมรรถภาพปอดของนักเรียนในพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมเหมืองหินและไม่บดหรือย่อยหิน จังหวัดสระบุรี*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.